

VI-109 - ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO CIMENTO COM AGREGADO DE SÍLICA E DO CIMENTO COM AGREGADO DE ALTO FORNO ATRAVÉS DE FERRAMENTA DE ACV

Kellen Tebaldi da Cunha⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Luterana do Brasil.

Kauana Benedetti Costa Dutra

Engenheira Ambiental pela Universidade Luterana do Brasil.

Cristine Santos de Souza da Silva

Bacharel em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário La Salle - UNILASALLE. Mestre em Eng. Civil com ênfase em Gerenciamento de Resíduos pela Universidade do Vale do rio dos Sinos - UNISINOS. Professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA.

Mara Elisa Oliveira da Silva

Engenheira Ambiental pela Universidade Luterana do Brasil - ULBRA.

Endereço⁽¹⁾: Av. Farroupilha, nº 8001 - Bairro São José · Cep 92425-900 · Canoas - RS - Brasil - Tel: (51) 3477-4000 - e-mail: *kellen.tc@hotmail.com*

RESUMO

A utilização de cimento está associada ao desenvolvimento da construção civil e consequentemente do país. Entretanto, a preocupação com as questões ambientais vem crescendo significativamente nos últimos anos, sendo necessária a melhoria contínua dos processos e dos materiais utilizados na composição e produção do cimento. Neste trabalho são avaliados e comparados ambientalmente cimento Portland com agregado de escória de alto forno e cimento Portland com agregado de pó de sílica. O ciclo de vida destes dois materiais serão comparados por meio de uma ferramenta computacional, o software BEES®, que avalia o nível de impacto ambiental causado para os dois produtos analisados durante seus ciclos de vida. Os resultados obtidos demonstram que a extração de matérias primas é o processo que causa maior impacto ao ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Ciclo de Vida (ACV), Desempenho Ambiental, Escória de Alto Forno, Pó de Sílica, Software BEES 4.0.

INTRODUÇÃO

Como os resíduos sólidos urbanos e industriais vêm se tornando um dos problemas mais sérios da sociedade, a disposição inadequada destes resíduos pode ocasionar impactos ambientais severos, como a degradação do meio ambiente, contaminação dos mananciais e escassez dos recursos naturais. Segundo Ângulo et al, 2001, como consequência do crescimento populacional e o crescente aumento da industrialização temos o aumento no volume de resíduos gerados. Estes, por sua vez, necessitam ser encaminhados para aterros sanitários, o que consequentemente, acarreta na falta de área disponíveis para implantação de novos aterros sanitários. Na busca de um desenvolvimento sustentável, a indústria da construção civil vem reutilizando resíduos agroindustriais, minimizando os impactos ambientais que seriam causados por estes.

Numa tentativa de minimizar os impactos ambientais causados pela produção de cimento portland, a adição de materiais suplementares na produção de cimento vem sendo uma das alternativas utilizadas, como a adição de subprodutos de processos industriais, agrícolas e materiais reciclados. Essa necessidade tem encorajado pesquisadores na área da tecnologia de cimentos e argamassas a investigar e analisar as propriedades desses subprodutos, quando utilizados como substitutos aos materiais constituintes na sua produção (RIGON, et. al, 2014).

Pozolanas vem sendo utilizadas como compostos cimentícios desde a antiguidade, estas podem ser materiais de origem natural, como rochas ou minerais, ou subprodutos industriais. A NBR 12.653 define pozolana como um material que necessita ser finamente dividido, misturado com água e reagir com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentares. (TASHIMA, 2006).

Sendo a construção de habitações um dos mais caros e inacessíveis bens que produzimos e o aumento da necessidade deste, temos 2ª reciclagem de materiais uma vantagem econômica, pois pode auxiliar na produção de materiais de construção civil de menor custo, colaborando na possível redução dos custos das habitações. (JOHN; AGOPYAN, 2000).

De acordo com Prado e Neto (2005) ter o conhecimento do ciclo de vida dos produtos é o primeiro passo a ser tomado na busca do desenvolvimento sustentável. A análise do ciclo de vida (ACV) é conceituada como uma ferramenta de gerenciamento ambiental aplicada aos produtos, para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao seu ciclo de vida, de forma a se reduzir danos ambientais, desde a extração das matérias primas até a sua disposição final e/ou reuso. De um ponto de vista geral, a adoção da ACV representa uma mudança estratégica que possibilita um ganho no sistema de produtividade e garante os princípios de sustentabilidade (BARBOSA Jr. *et. al*, 2007).

A utilização dos indicadores de análise de ACV possibilita o uso da logística reversa para a correta destinação ou reincorporação dos resíduos no processo produtivo, proposta conhecida como “cradle to cradle”, do berço ao berço, onde o resíduo gerado no processo (berço) retorna para ser utilizado como matéria prima a um processo produtivo (MOTTA, 2013).

Cimento Portland

Conhecido popularmente como cimento, é um material em pó, fino e que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurecem sob a ação da água. Suas principais matérias-primas são o calcário, a argila, a areia e minério de ferro. Com objetivo de melhorar algumas propriedades do produto é comum utilizar-se de adições, estas adições são motivadas por possuírem baixo custo e também pela preocupação com o ambiente e a necessidade de extração de matérias primas para a produção de cimento portland. Geralmente são reutilizados os resíduos de processos agroindustriais tais como as cinzas da casca do arroz, cinzas volantes, escória granulada de alto forno ou a sílica ativa (MILITO, 2007 *apud* NEVILLE, 1997).

Cimento Portland com Agregado de Alto Forno

Agregado de alto forno, também conhecido como escória, é um produto não metálico constituído de silicatos e aluminatos silicatos de cálcio e outras bases, obtido na fabricação de ferro gusa. Em siderúrgicas que operam altos fornos a carvão de coque são geradas aproximadamente 300 toneladas de escória por tonelada de ferro gusa. Altos fornos que utilizam como combustível carvão vegetal a geração de escória é inferior a este valor. Acredita-se que o reuso da escória como aditivo ao cimento portland iniciou-se em meados de 1901 (JOHN, 1995).

A formação da escória no alto forno ocorre quando a temperatura aproxima-se de 1550°C, a partir daí, o ferro e os óxidos fundidos presentes na mistura separam-se e não se misturam ao metal. Estes dois líquidos formados acumulam-se no fundo do alto-forno e a escória, como é menos densa, acumula-se na camada superior, o que facilita a sua remoção.

O reaproveitamento da escória de alto forno em cimento portland reduz o volume de resíduos encaminhados à aterros sanitários e também a emissão de gás carbônico (CO₂) à atmosfera, pois substitui o uso do clínquer. Para a produção do clínquer se faz necessário a calcinação do calcário, atividade que libera grande quantidade de CO₂. Além disso, a escória não precisa ser calcinada, o que reduz a quantidade de poluentes e o consumo de combustível, o que consequentemente, reduz também a emissão de outros gases poluentes à atmosfera, como o SO_x. (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Cimento Portland com Agregado de Sílica

Agregado de sílica, também conhecido como sílica ativa, é um subproduto da produção de ligas de ferro e silício metálico, através da redução do quartzo pelo carbono. Do ponto de vista químico, a sílica ativa é composta basicamente de dióxido de silício (SiO₂), com pequenas quantidades de alumínio, ferro, cálcio,

carbono, entre outros. O conteúdo de SiO_2 na sílica ativa depende do tipo de liga que está sendo produzida. Portanto, quanto maior o teor de silício da liga, maior será o teor de SiO_2 da sílica ativa (Netto, 2006).

A sílica ativa é um material muito fino, com diâmetro médio de $0,1 \mu\text{m}$ e altamente reativo, essas características lhe conferem a capacidade de melhor empacotamento das partículas do cimento Portland. Sua composição é, basicamente, 85% de óxido de sílica (SiO_2), e as suas propriedades variam muito conforme o seu grau de pureza. (TASHIMA, 2006 *apud* BARATA;1998).

Segundo Netto (2006), a sílica ativa densificada é um material submetido a beneficiamento por aglomeração das partículas, tendo como valores típicos de massa específica aparente, no estado solto, superiores a 350Kg/m^3 . A Sílica ativa não densificada é um material obtido diretamente do filtro coletor, tendo como valores típicos de massa específica aparente, no estado solto, de 150Kg/m^3 a 350Kg/m^3 . A sílica ativa em forma de lama é um material composto de sílica ativa em suspensão aquosa, com um pH estável, de maneira que não interfere na utilização com o concreto, sua massa específica fica entre 1300Kg/m^3 e 1400Kg/m^3 . Ainda, segundo o mesmo autor, os materiais pozolânicos são energeticamente mais econômicos que o clínquer do cimento Portland, tendo ainda implicações ecológicas, pois contribuem para um melhor aproveitamento dos resíduos industriais poluidores.

Análise de Ciclo de Vida – ACV

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) teve sua origem em meados da década de 60, quando a população começou a questionar o limite da extração dos recursos naturais e seu impacto devido a crise do petróleo ocorrida na época. Algumas empresas, visualizando esta ferramenta como uma estratégia de marketing, apresentavam ao público somente os resultados que as interessavam, então, com vistas a regularizar esta situação, foram criadas as normas técnicas da série ISO 14000 que regulamentam a análise do ciclo de vida dos produtos (SILVA, 2015). Trata-se de uma ferramenta de gerenciamento ambiental aplicada aos produtos, para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao seu ciclo de vida, de forma a se reduzir danos ambientais, desde a extração das matérias primas até a sua disposição final e/ou reuso.

De um ponto de vista geral, a adoção da ACV representa uma mudança estratégica que possibilita um ganho no sistema de produtividade e garante os princípios de sustentabilidade (BARBOSA Jr. *et. al*, 2007). A utilização dos indicadores de análise de ACV possibilita o uso da logística reversa para a correta destinação ou reincorporação dos resíduos no processo produtivo, proposta conhecida como “cradle to cradle”, do berço ao berço, onde o resíduo gerado no processo (berço) retorna para ser utilizado como matéria prima a um processo (MOTTA, 2013). Pois, conforme Silva *et al* (2014) a análise do ciclo de vida de um produto é um estudo das complexas interações entre o produto e o ambiente, avaliando todos os aspectos e impactos ambientais associados ao ciclo de vida do produto.

A ACV tem como objetivo principal a avaliação dos aspectos e potencial de impacto envolvido em todo ciclo de vida do produto, bem como auxiliar na tomada de decisões para melhorias no processo produtivo, no que tange o planejamento dos projetos e entradas e saídas do sistema, como o uso de energia, matérias primas, resíduos e emissões gerados. (BARBOSA Jr. *et. al*, 2007). De acordo com Prado e Neto (2005), ter o conhecimento do ciclo de vida dos produtos é o primeiro passo a ser tomado na busca do desenvolvimento sustentável.

Porém, para garantir uma eficiente ACV deve-se ter a preocupação com os resíduos gerados após o consumo do produto e também os subprodutos (produtos secundários) gerados pelo processo produtivo. Segundo Motta (2013), a análise da fase pós-consumo dos produtos permite utilizar matérias primas secundárias como insumos na produção de outros bens, através da reciclagem de resíduos sólidos, alcançando a proposta de “cradle to cradle”. Além disso, a reutilização de resíduos no processo produtivo traz benefícios como a economia de energia, diminuição da poluição e impactos ambientais, a qualidade de vida da população e até mesmo melhorias na limpeza da cidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta pesquisa foi utilizado o software BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), no intuito de determinar e avaliar os impactos ambientais decorrentes do processo produtivo de cimento portland, discriminando diversas combinações que o software realiza e compilando os dados.

Para todas as análises foi adotada uma distância percorrida de 100 km do produto final (cimento Portland com agregado de alto forno ou cimento Portland com agregado de sílica) até o destino final. Para iniciar a análise e realizar os comparativos foi necessário abastecer o software com informações sobre entradas e saídas dos sistemas. Assim, a partir dos dados pré-estabelecidos no sistema pode-se avaliar parâmetros analisando resultados em diversos aspectos.

O software BEES avalia o desempenho de 12 impactos ambientais: contaminação do ar interno, alteração do habitat, saúde humana, formação de névoa fotoquímica, depleção da camada de ozônio acidificação, ecotoxicidade, poluentes atmosféricos, consumo de combustíveis fósseis, eutrofização, aquecimento global, poluição e consumo de água. Além disso, o software permite que se incorpore parâmetros econômicos e ambientais à análise. Neste estudo, porém, não atribuído nenhum peso aos requisitos econômicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 12 impactos ambientais analisados pelo software BEES, apenas 7 impactos tiveram influência no resultado da ACV, que são: acidificação, ecotoxicidade, poluentes atmosféricos, consumo de combustíveis fósseis, eutrofização, aquecimento global e consumo de água.

Quanto à acidificação

O Software BEES considera para fins de avaliação e cálculos, o potencial de acidificação, identificado em cada componente do produto comparado, de acordo com o lançamento de gases que atingem os ecossistemas seja pela dissolução das águas das chuvas ou pela deposição em corpos d'água.

Neste caso são quantificadas as emissões de amônia (NH_3), ácido clorídrico (HCl), cianeto de hidrogênio (HCN), fluoreto de hidrogênio (HF), Sulfeto de hidrogênio (H_2S), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), compostos que reagem na atmosfera e precipitam na forma de chuva ácida. Segundo Oliveira (2007) a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, está diretamente relacionada com acidificação do meio, contribuindo para as formações citadas, expressas em mg de H^+ .

A Figura 3 apresenta o gráfico gerado pelo sistema que demonstra o desempenho dos materiais comparados quanto à acidificação. A Tabela 1 apresenta os resultados de acidificação, em valores expressos em mg de H^+ .

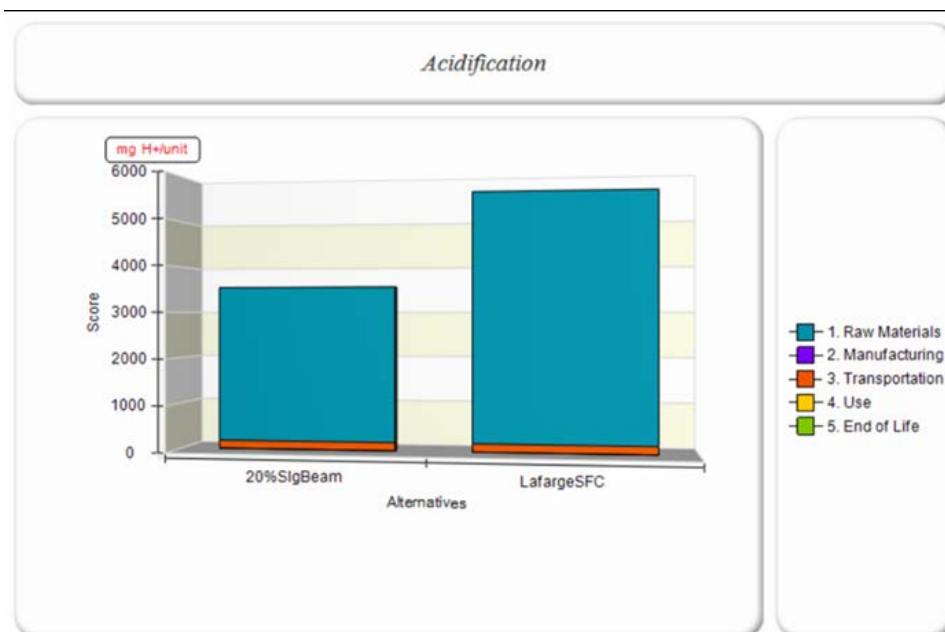


Figura 3 – Gráficos de resultados de acidificação.

Fonte: Software BEES

Tabela 1: Resultados de acidificação, valores expressos em mg de H⁺.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	3365.1391	5403.0354
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	178.2772	178.2110
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	3543.4163	5581.2464

Fonte: Adaptado de Software BEES

A avaliação mostra que a extração das matérias primas é a categoria que mais contribui para o lançamento de componentes que influenciam nos processos de acidificação. Considerando os resultados obtidos da simulação realizada no software BEES podemos concluir que o pó de sílica é o que mais emite mg de H⁺ na etapa de extração de matéria-prima. A etapa de transporte apresentou valores menores e iguais para os dois tipos de agregados, porém também contribui para a acidificação, devido à emissão de gases atmosféricos poluentes como CO₂, SO_x e NO_x, provenientes da queima de combustíveis fósseis.

Cabe salientar que o pó de sílica bem como a escória de alto-forno são subprodutos de outros processos produtivos e seriam descartados como resíduos. Devemos considerar que nesta análise os resultados de impacto ambiental na extração de matéria-prima estão correlacionados à produção primária de tais processos.

Quanto à ecotoxicidade

A toxicidade ecológica está relacionada às substâncias que quando lançadas no ambiente comprometem sua integridade. O BEES considera mais de 150 substâncias potencialmente tóxicas para os ecossistemas terrestres, aquáticos e atmosféricos. Entre elas incluem-se: dioxinas, mercúrio (Hg), cádmio (Cd), cromo tri e hexavalente (Cr III e Cr VI), naftaleno (C₁₀H₈), berílio (Be), arsênio (As), níquel (Ni), cobre (Cu), vanádio (V), cobalto (Co), selênio (Se), zinco (Zn), chumbo (Pb), entre outros.

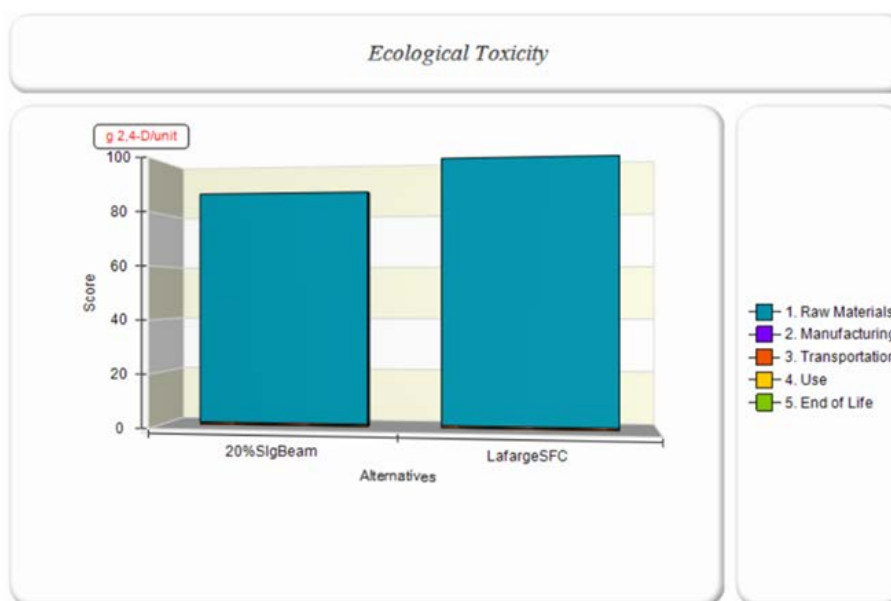


Figura 4: Gráficos dos resultados de ecotoxicidade.

FONTE: Software BEES

Tabela 2 – Resultados de ecotoxicidade, valores expressos em g de 2,4-D.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	87.0700	99.1780
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	0.6992	0.6990
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	87.7692	99.8770

FONTE: Adaptado de Software BEES

Com base nos resultados obtidos, a etapa mais significativa para ecotoxicidade é a extração das matérias primas, em ambas comparações, havendo maior índice para o agregado de sílica. A etapa de transporte apresentou valores extremamente baixos para ecotoxicidade, que a sua participação em relação a este impacto ambiental pode ser desconsiderada, tendo como base os poluentes potenciais analisados pelo software neste caso.

Quanto aos poluentes atmosféricos

A poluição atmosférica está relacionada a quantidade de partícula sólida e líquidas dispersas no ar, em decorrência de atividade como a combustão, geração de energia, uso de veículos automotores, etc. Para avaliação o software considera os lançamentos de óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e óxido de enxofre (SOx) (OLIVEIRA, 2007).

Segundo ROCHA *et al.* (2009) a consequência dos poluentes atmosféricos é a deterioração das condições ambientais. O aumento das combustões, em função da crescente demanda energética contribui para implicações ambientais imediatas.

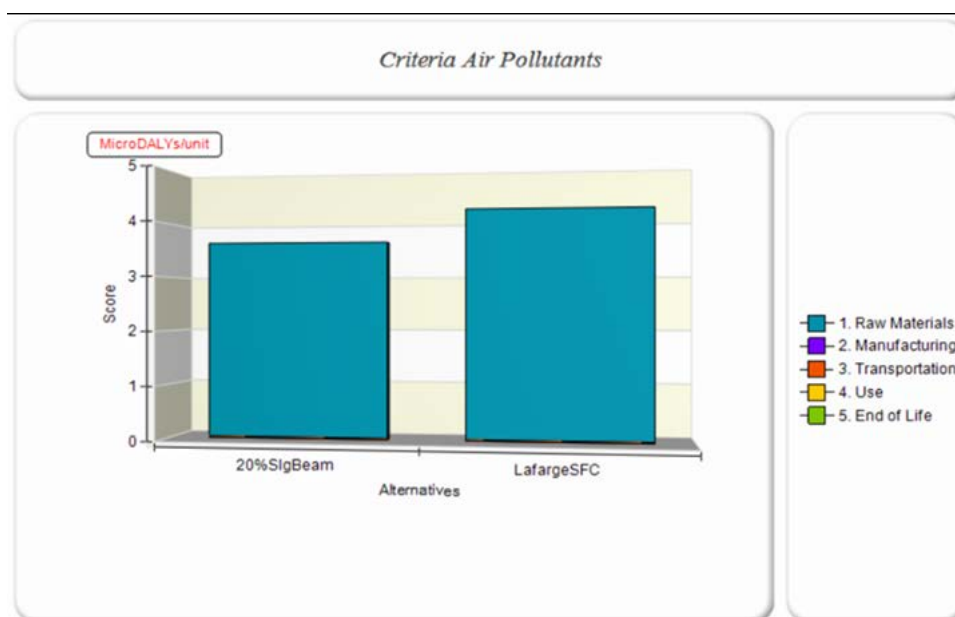


Figura 5: Gráficos de poluentes atmosféricos.

FONTE: Software BEES

Tabela 3 – Resultados de poluentes atmosférico, com valores expressos em MicroDALYs.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	3.6077	4.2028
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	0.0251	0.0250
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	3.6328	4.2278

FONTE: Adaptado de Software BEES.

Com relação aos poluentes atmosféricos, a etapa de extração de matérias primas foi a que maior apresentou resultado, porém pouco significativo, e novamente o pó de sílica foi considerado o mais impactante. Com relação aos poluentes atmosféricos analisados, a etapa de transporte não possui contribuição significativa.

Quanto ao consumo de combustíveis fósseis

Segundo OLIVEIRA (2007), a depleção de combustíveis fósseis está relacionada apenas aos impactos gerados no uso de combustíveis. É quantificada a partir do consumo de óleo, carvão e gás natural, não incluindo os impactos associados a extração e produção destes recursos.

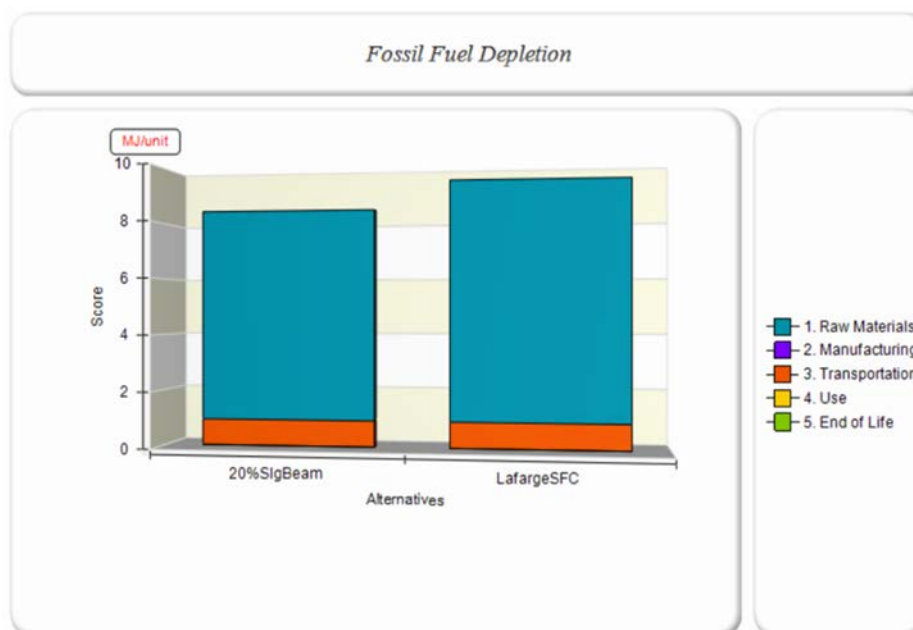


Figura 6 – Gráficos de depleção de combustíveis fósseis.

FONTE: Software BEES

Tabela 4 – Resultados de depleção de combustíveis fósseis, valores expressos em MJ.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	7.5082	8.5262
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	0.9306	0.9251
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	8.4388	9.4513

FONTE: Adaptado de Software BEES.

Conforme pode ser observado na Figura 6, em relação ao consumo de combustíveis fósseis, destacou-se o agregado de pó de sílica. O transporte também apresentou participação nos impactos relacionados ao consumo de combustíveis fósseis, porém, o seu resultado comparado com o resultado obtido na etapa de extração das matérias primas, apresentou valores pouco significativos nesta análise.

Quanto à eutrofização

O crescimento desequilibrado de algumas espécies aquáticas, provocado pelo lançamento excessivo de nutrientes minerais, causa o processo de eutrofização. O software quantifica os lançamentos para água e ou solo de amônia (NH_3), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido nitroso (N_2O), compostos de fósforo e nitrogênio, DBO_5 , DQO , íons nitrato e nitrito (NO_3^- e NO_2^-), etc.

Conforme Oliveira (2007) no processo produtivo de concreto, os principais nutrientes liberados que contribuem para o processo de eutrofização e crescimento de algas nos corpos hídricos são o nitrogênio e o fósforo. O fósforo tem função relevante na produtividade aquática e na qualidade das águas interiores por contribuir com esse fenômeno (ROCHA et al., 2009).



Figura 7: Gráfico de eutrofização.

FONTE: Software BEES

Tabela 5 – Resultados de eutrofização, valores expressos em g de N.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	3.1727	3.5586
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	0.1812	0.1812
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	3.3539	3.7398

FONTE: Adaptado de Software BEES.

A etapa que mais contribui para a eutrofização é a de extração de matérias primas, para ambos produtos analisados, sendo que estes assumiram valores aproximados. O transporte também apresentou participação, porém com valor pouco significativo.

Quanto ao aquecimento global

O aquecimento Global é um dos principais problemas ambientais atuais, sendo uma das consequências do “Efeito Estufa”. O aumento da temperatura do planeta está relacionado à alta concentração de CO₂ na atmosfera, considerado um dos principais gases do efeito estufa (GEE). O aumento e a rápida acumulação de gás carbônico à atmosfera são decorrentes do aumento no consumo de combustíveis fósseis nas últimas décadas.

O principal problema é que a sociedade moderna está emitindo uma quantidade excessiva de gases estufa para a atmosfera. O CO₂ é um gás incolor, inodoro, comum e natural da atmosfera terrestre. Está presente em todas combustões que utilizam combustíveis que contenham carbono em sua composição. Como as emissões de CO₂ têm alcance e efeitos globais, o controle e até mesmo a redução de sua emissão dependem do entendimento entre as nações mundiais (ROCHA *et al.*, 2009).

Na produção de cimento o fluxo que mais contribui com o aquecimento global é a liberação de dióxido de carbono, presente no principal componente da produção de cimento Portland, o clínquer. Com a reutilização de 50% de escória para a produção de cimento, pode ocorrer a redução de cerca de 25% da quantidade de emissões (OLIVEIRA, 2007).

Para quantificação o software BEES calcula em gramas as emissões atmosféricas dióxido de carbono (CO₂), clorofluorcarbono CFC 12 (CCl₂F₂), clorofórmio (CHCl₃), metano (CH₄), metil-bromo (CH₃Br), metil-cloro (CH₃Cl), halon 1301 (CF₃Br), tetrafluorcarbono (CF₄), cloro-metileno (CH₂Cl₂), HCFC 22 (CHF₂Cl), óxido de nitrogênio (2°), entre outros elementos.

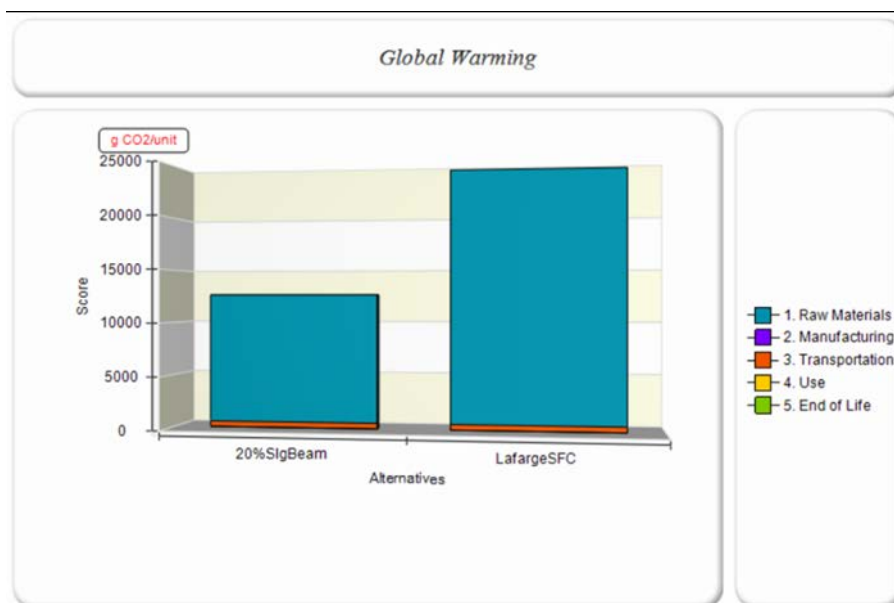


Figura 8: Gráficos de aquecimento global.

FONTE: Software BEES

Tabela 6 – Resultados de aquecimento global, valores expressos em g de CO₂.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	12082.8691	23711.8551
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	534.8757	534.0935
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	12617.7448	24245.9486

FONTE: Software BEES.

Nos resultados desta análise, novamente temos como maior potencial poluidor a etapa de extração de matérias primas, sendo que o pó de sílica apresenta maior resultado em g de emissões. Nesta análise a etapa de transporte aparece com valores significativos em g de CO₂ emitidos à atmosfera, porém quando comparado ao volume de CO₂ emitidos à atmosfera pela etapa de extração de matérias primas, a sua participação neste impacto ambiental torna-se pouco significativa.

Quanto ao consumo de água

A depleção de recursos hídricos está relacionada ao consumo de água potável, onde a avaliação é realizada a partir do consumo do recurso hídrico (OLIVEIRA, 2007). A escassez de água também é um impacto significativo, passando a ser um assunto preocupante entre as indústrias que buscam projetos de racionalização

e reuso. A redução dos recursos hídricos não ocorre só pelo consumo excessivo de água potável, mas também pelo lançamento de nutrientes e poluição. A água é um recurso fundamental para existência da vida (ROCHA *et al.*, 2009).



Figura 9: Gráficos de consumo de água.
FONTE: Software BEES

Tabela 8 – Resultados de consumo de água, valores expressos em Litros.

Categoria	20% SlgBeam (escória alto-forno)	Lafarge SFC (pó de sílica)
1.Raw Materials (matéria-prima)	17.9000	18.3000
2.Manufacturing (fabricação)	0.0000	0.0000
3.Transportation (transporte)	0.0000	0.0000
4.Use (uso)	0.0000	0.0000
5.End of life (descarte)	0.0000	0.0000
Soma	17.9000	18.3000

FONTE: Adaptado de Software BEES.

Os resultados obtidos demonstram que, 100% do impacto ambiental de consumo de água está relacionado à etapa de extração de matérias primas dos produtos analisados. Nesta análise a escória de alto-forno e o pó de sílica assumiram valores aproximados.

CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos através das análises de todos os parâmetros ambientais, realizadas através do software BEES, podemos concluir que a etapa que mais causa impacto ao ambiente é a etapa de extração de matérias primas, tanto para a escória de alto-forno quanto para o pó de sílica. Sendo que o pó de sílica foi o que apresentou resultados mais elevados nas análises. A etapa de transporte apresentou participação em algumas das análises, porém com valores poucos expressivos, podendo ser desconsiderado.

Considerando que estas análises possuem apenas caráter ambiental e que, conforme mencionado anteriormente, as etapas de extração de matérias primas referem-se aos processos produtivos primários, que geram escória e pó de sílica como subprodutos e estes serão reinseridos à cadeia produtiva como agregados ao concreto, com finalidade de diminuir o consumo de recursos naturais, bem como a redução nas emissões de

CO₂ a partir da utilização de clínquer para a produção de cimento, podemos dizer que, para a produção de cimento, a utilização de agregados que são subprodutos oriundos de outros processos produtivos não é um fator com alto potencial de impacto ambiental.

É notável que a preocupação com estes resíduos de mineração e beneficiamento de rochas venha aumentando, em virtude do crescimento deste setor na economia do país e por tratarem-se de resíduos que possuem enorme potencial de impacto ambiental se descartados da maneira incorreta.

Considerando ainda que o aumento indiscriminado da geração de resíduos tem acarretado na necessidade de novas áreas disponíveis para a implantação de aterros sanitários, a reutilização destes subprodutos significa aumentar o ciclo de vida dos mesmos e reduzir o volume de materiais que serão descartados em aterros sanitários, podemos dizer que, de acordo com a análise dos resultados obtidos e de um ponto de vista ambiental geral destes subprodutos na cadeia produtiva, podemos dizer que o reuso dos subprodutos estudados como agregados ao cimento portland justifica-se, pois estará minimizando a ocorrência de impactos ambientais futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
2. ÂNGULO, S.C., ZORDAN, S.E., JOHN V.M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil-materiais reciclados e suas aplicações, 2001.
3. BARBOSA JÚNIOR, A.F.; MORAIS, R.M.; EMERENCIANO, S.V.; PIMENTA, H.C.D.; GOUVINHAS, R.P. Conceitos e aplicações de ACV no Brasil. XVIII ENGEP, Foz do Iguaçu, PR, 2007.
4. JOHN, V.M. Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio. São Paulo, EP USP, 1995, (Tese de Doutorado).
5. JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de escória de alto forno no Brasil. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP (PCC USP). Seminário Nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais, São Paulo, 2000.
6. MILITO, J. A. Avaliação do desempenho de Aglomerante à Base de Gesso com Cimento Portland de alto forno e sílica ativa. 2007. Tese de Doutorado. Tese de doutorado Faculdade Engenharia Civil-Cap. 3, Unicamp.
7. MOTTA, W.H. Análise do ciclo de vida e logística reversa. X Simpósio em Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.
8. NETTO, R.M. Materiais pozolânicos. Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Especialização em Construção Civil (Monografia). Belo Horizonte, 2006.
9. OLIVEIRA, A.S. Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.
10. PRADO, M. R. KASKANTZIS NETO, G. Análise do ciclo vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. Revista Eletrônica Polidisciplinar Voos - ISSN 1808-9305 - REPV, 2005.
11. RIGON, M. R. MACIEL, E. F.; FERNANDES, I. J. BRAUM, C.E. Desempenho ambiental de concretos de cimento Portland com substituição por cinza volante. 5 Fórum Internacional de resíduos Sólidos. São Leopoldo, 2014.
12. ROCHA, J.C. ROSA, A.H. CARDOSO, A.A. Introdução à química ambiental. – 2 ed. – porto Alegre: Bookman, 2009.
13. SÁLVIO, F. E. C.; MEDINA, H.V. Produção sustentável de aço no Brasil. XVI Jornada de Iniciação Científica - CETEM, 2008.
14. SILVA, Cristine Santos de S. Avaliação de Ciclo de Vida. Livro Didático. ULBRA EAD. Canoas. 101 p. 2014.
15. SILVA, Cristine Santos de S.; NOGUEIRA, João Rafael S.; SILVA, Michele G.; ORTOLAN, Vinicius K.; MANCIO, Mauricio. Avaliação ambiental de processos de pavimentação rígida e flexível a partir da análise do ciclo de vida. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2014.
16. TASHIMA, M. M. Cinza da casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em amtrizes de cimento Portland. Dissertação de pós-graduação em Engenharia civil, UNESP, 2006.